GROHMANN, F.W.

Ueber die

Arbeitsleistung am Ellenbogen-

gelenk wirkenden Muskeln.

1902



[AUS DER ANATOMISCHEN ANSTALT ZU LEIPZIG.]

ÜBER DIE ARBEITSLEISTUNG DER AM ELLBOGENGELENK WIRKENDEN MUSKELN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN, CHIRURGIE UND GEBURTSHILFE

EINER

HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT LEIPZIG

VORGELEGT

VON

FRIEDRICH WILHELM GROHMANN,

APPROBIRTER ARZT AUS FRAUENSTEIN I. S.

LEIPZIG,

VEIT & COMP.

1902.

Diese Arbeit erscheint im

Archiv für Anatomie und Physiologie. 1902. Anatomische Abtheilung.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Auf Vorschlag von Hrn. Professor Dr. R. Fick und unter seiner Leitung untersuchte ich die Wirkung der am Ellbogengelenk wirkenden Muskeln und zwar sowohl der Beuger und Strecker als auch der Pronatoren und Supinatoren. Es liegen zwar schon Arbeiten über die Rotationsmomente der Beugemuskeln des Ellbogengelenkes vor, die eine von E. Fick (3), die andere von Braune und Fischer (10), aber die Pronation und Supination ist bisher noch nicht untersucht und eine Bestimmung der Arbeitsleistung der Muskeln ist bisher nur für die am Fussgelenk wirkenden Muskeln von R. Fick (1) ausgeführt worden. Für die praktische Verwendung ist, wie R. Fick (1, S. 45 ff.) aus einander gesetzt hat, die Arbeitsbestimmung im allgemeinen entschieden brauchbarer als es die Rotationsmomente sind. Während diese nur für eine bestimmte Stellung gelten, geben die Arbeitswerte ein anschauliches Bild der ganzen Muskelwirkung auf ein bestimmtes Gelenk. R. Fick hat a. a. O. gezeigt, dass man die mechanische Arbeit, die ein Muskel an einem bestimmten Gelenk leisten kann, aus Verkürzungsgrösse und Querschnitt des betreffenden Muskels berechnen kann. Die mechanische Arbeit ist gleich Hubhöhe mal Kraft, das ist: Verkürzung mal Spannung. Die Spannung beträgt nach Henke (4) und Koster (6) etwa 6 bis 10 ^{kgm} pro 1 ^{qcm} Muskelquerschnitt. Da Henke's Schätzung dieser Spannung, die sogenannte „absolute Muskelkraft“, wohl eher zu klein als zu gross ist und die Muskelquerschnitte nach Messungen an der Leiche eher kleiner erscheinen werden als sie beim Lebenden sind, so schlug R. Fick vor, die für die Ausführung der Rechnung bequeme Zahl von 10 ^{kgm} pro 1 ^{qcm} Querschnittsfläche der Berechnung zu Grunde

zu legen. Es ist also: Verkürzung in Metern mal Querschnitt in Quadratcentimetern mal 10 = Arbeitsmöglichkeit in Kilogrammmetern. Die zu dieser Berechnung nöthigen Faktoren gewann ich folgender Weise:

I. Methode.

Zu meinen Untersuchungen benützte ich zwei Präparate, in der Folge mit I und II bezeichnet. Das erstere war ein fettarmer, mittelmässig starker Arm, das letztere ein stark musculöser, aber ebenfalls mit wenig Fettansatz versehener Arm, beide von männlichen Individuen.

A. Querschnittsbestimmung.

Bei den Querschnittbestimmungen verfuhren wir in folgender Weise:

Obwohl es sich bei unserer Arbeit nur um Annäherungswerthe handelt und füglich die Messung des grössten anatomischen Querschnittes, ohne Berücksichtigung der Fiederung, genügend erscheinen könnte, zumal bei den Muskeln des Ellbogengelenkes dieselbe keine grosse Rolle spielt, so suchten wir doch der Fiederung Rechnung zu tragen. Wir führten die Schnitte nämlich nicht einfach quer zum Längsverlauf des Muskels, sondern quer zur Faserung, um möglichst alle Muskelfasern zu treffen.

Nachdem die Muskeln frei präparirt waren, zum Zwecke der späteren Exkursionsmessungen die Ansatzstelle markirt und das distale Sehnenende bezeichnet war, wurden die Muskeln abgetrennt, bindegewebige und Fetttheile losgelöst, die Muskelmasse gewogen und dann in Alkohol gehärtet. Danach legte ich in der oben bezeichneten Weise im grössten Durchmesser Querschnitte an und bestimmte deren Maass auf zwei Methoden. Erstens nach der von R. Fick angewandten Buchner'schen Methode, indem ich die Muskeln in eine graduirte, rechteckige Holzgabel einpresste, zweitens auf folgende Weise: Ich tränkte die Querschnitte der Muskeln mit Stempelfarbe und umschlang den Rand derselben mit einem breiten Gummiband, das, ohne starken Druck auszuüben, verhindern sollte, dass die einzelnen Muskelbündel nach Art der Borsten eines Pinsels aus einander wichen. Nun drückte ich die Fläche mit der Stempelfarbe gegen ein auf einem völlig ebenen Brett aufgespanntes Papier, stellte so zunächst die Muskelquerschnitte bildlich dar und konnte an mehreren von demselben Muskel gemachten Abdrücken constatiren, dass sie die Conturen des wirklichen Querschnittes sehr exact wiedergaben. Darauf bezog ich mit den einzelnen Bildern Bleiplatten von 1·5 ^{mm} Dicke, nachdem ich mich durch an verschiedenen Stellen vorgenommene Messungen überzeugt hatte, dass die Dicke der Platte überall constant war. Als das Papier vollständig fest haftete,

schnitt ich das Querschnittsbild aus der Platte aus und wog diesen Ausschnitt. Dann bestimmte ich möglichst genau das durchschnittliche Gewicht eines 1 qcm grossen Stückes der Platte und konnte nun durch Vergleich des Gewichtes der „Muskelquerschnittplatten" mit der „Einheitsplatte"[1] die Querschnittsgrösse der betreffenden Muskeln berechnen. Das Gewicht der betreffenden Muskelplatte, dividirt durch das Gewicht der Einheitsplatte, ergab direct den Flächeninhalt des betreffenden Muskelquerschnittes in Quadratcentimetern. So z. B. betrug das Gewicht der Querschnittplatte des M. ext. carp. rad. long. 6·795, das durchschnittliche Gewicht der Einheitsplatte 1·79 grm; man erhält also für die Querschnittgrösse des M. ext. carp. rad. long. $\frac{6 \cdot 795}{1 \cdot 79} = 3 \cdot 79$ qcm. Dieser letzteren Methode, obwohl sie umständlicher ist, ist insofern der Vorzug vor der Buchner'schen zu geben, als die Muskeln nicht gewaltsam aus ihrer eigentlichen Form in den Ausschnitt der Holzgabel gepresst und unter einem Drucke festgehalten werden müssen, der nicht immer gleichmässig auszuführen ist und, je nachdem er hoch oder niedrig, einen kleineren oder grösseren Flächeninhalt ablesen lässt. Die mit der Holzgabel gewonnenen Querschnittgrössen waren immer kleiner als die mittels der Bleiplattenmethode durch Wiegen berechneten.

Meine Querschnittberechnungen stimmen ganz gut mit denen von Braune und Fischer (10) planimetrisch gemessenen überein, weichen aber wie diese von denen durch Eduard Weber (8) und durch Henke (4) berechneten Querschnittgrössen sehr erheblich ab. Letztere beiden Forscher berechneten den Querschnitt nach der Formel $S = \frac{P}{p \, . \, L}$, in der L die mittlere Länge der Fleischfasern des Muskels, P sein Gewicht, und p das specifische Gewicht der Muskelsubstanz bedeutet. Die auf diesem Wege gefundenen Querschnittgrössen sind durchweg wesentlich höher als die meinigen und die von Braune und Fischer gefundenen und übertreffen sie oft um das Doppelte. In der Hauptsache beruht sicher der Unterschied in der Verschiedenheit der angewandten Methode, und wir dürfen wohl behaupten, dass unsere directe Messmethode, namentlich bei wenig gefiederten Muskeln, zuverlässiger ist als die Berechnung von Weber und von Henke. Besonders die „mittlere Fleischfaserlänge" des betreffenden Muskels, die dabei eine Rolle spielt, ist eine sehr wenig genau feststellbare Grösse, die leicht zu erheblichen Fehlern führen kann. So machte bereits R. Fick darauf aufmerksam, dass der nach Weber's Methode für den M. soleus berechnete Querschnitt von 84·124 qcm doch wohl Zweifel an der Exactheit der Methode erwecken müsse. Zum Teil freilich können diese

[1] Die Gewichte von 8 „Einheitsplatten" differirten nur in Milligrammen.

Abweichungen auch auf individuellen Unterschieden in der Muskeldicke beruhen. Wie erheblich dieselben sein können, lässt sich leicht durch Wiegen feststellen. Auch meine beiden Präparate ergeben solche individuelle Unterschiede und zwar nicht nur absolute, sondern auch relative. Die Gewichte der von mir gewogenen Muskeln waren folgende:

		I. Präparat	II. Präparat
1.	M. brachioradialis	28·7 grm	28·5 grm
2.	M. brachialis	60·8 "	88·5 "
3.	M. ext. carp. rad. long.	17·67 "	23·1 "
4.	M. ext. carp. rad. brev.	11·35 "	23·1 "
5.	M. palm. long.	2·7 "	18·9 "
6.	M. pron. quadr.	4·90 "	5·5 "
7.	M. flex. carp. uln.	12·3 "	16·4 "
8.	M. ext. carp. uln.	9·5 "	11·7 "
9.	M. flex. dig. subl.	33.5 "	51·2 "
10.	M. abduct. poll. und ext. poll. brev.	3·2 "	6·7 "
11.	M. flex. poll. long.	7·8 "	10·7 "
12.	M. ext. dig. comm.	15·8 "	21·6 "
13.	M. flex. dig. prof.	37·8 "	60·4 "
14.	M. supinator	8·2 "	9·4 "
15.	M. pronat. teres	14·7 "	29·1 "
16.	M. flex. carp. rad.	11·9 "	17·4 "
17.	M. ext. poll. long.	3·3 "	3·9 "
18.	M. anconaeus	4·2 "	4·5 "
19.	M. ext. ind. prop.	2·15 "	2·84 "

Es ist hier z. B. der M. palm. long. von Präparat II gerade 7 Mal so schwer als der von Präparat I, während der M. brachioradialis von dem an sich in der Muskelanlage viel stärkeren Präparat II noch um 0·2 grm leichter ist als der gleiche Muskel von Präparat I.

B. Verkürzungsmessungen.

Die Verkürzungsgrösse bestimmte ich nach der von A. Fick vorgeschlagenen Methode, die zuerst von E. Fick, später von Braune und Fischer, R. Fick, Lydie von Besser (9), Mollier (11) und Steinhausen (13) angewandt wurde. Die Methode ist in Kürze folgende: Der zu untersuchende Muskel wurde sorgfältig vom Ursprung abpräparirt, und der Mitte seines Ursprungsfeldes entsprechend eine Oese in den Knochen eingeschraubt. Dann wurde ein völlig unelastischer Faden mit dem distalen

Sehnenende, das am Präparat verblieben war, verbunden, die Hand des Präparates fest am Radius fixirt, der Faden durch die Oese über eine Rolle geführt und mit einem kleinen Gewichte (46 ^{grm}) beschwert, dass denselben gerade in Spannung hielt und vor einem senkrecht gestellten Maassstab herabhing. Die Verkürzungen bei der Beugung und bei der Streckung maass ich in drei verschieden fixirten Handstellungen: bei äusserster Supination, bei Mittelstellung zwischen Pro- und Supination, bei äusserster Pronation.

Die Verkürzungen bei Pro- und Supination bestimmte ich in drei verschiedenen Armstellungen, in äusserster Streckstellung, Mittelstellung und äusserster Beugestellung. In Streckstellung bildeten Ulna und Humerus bei beiden Präparaten annähernd einen gestreckten Winkel, in äusserster Beugestellung bei Präparat I einen Winkel von 35 Grad, bei Präparat II einen Winkel von 30 Grad. Bei der Bewegung von extremster Pronation in extremste Supination beschrieb der Radialrand der Hand einen Kreisbogen von 125 Grad bei Präparat I, von 120 Grad bei Präparat II. In Mittelstellung zwischen Beugung und Streckung bildeten Ulna und Humerus einen rechten Winkel. Mit Mittelstellung zwischen Pronation und Supination ist die Stellung bezeichnet, in der die Längsrichtung der Ulna und des Radius in einer zur Ellbogengelenkaxe senkrechten Ebene liegen.

Die Bestimmung der Excursionen der Muskeln wurde zunächst öfter hinter einander vorgenommen und durch zeitlich verschiedene Controlmessungen nachgeprüft. Meine Verkürzungsmessungen stimmen denn auch ganz gut zu den von E. Fick und Fischer und Braune für die Beugestreckbewegung ausgeführten Messungen.

Bei Besprechung der Wirkung der einzelnen Muskeln an sich und im Verhältnis zu den gleichartig wirkenden, sind, neben den Untersuchungen von E. Fick und Braune und Fischer, hauptsächlich die Resultate Duchennes (7) zum Vergleich heran zu ziehen, da andere eingehende Arbeiten über diese Frage nicht vorhanden sind. Duchenne bediente sich bekanntlich der elektro-physiologischen Methode, die er an Gesunden und Kranken mit partiellen Lähmungen anwandte. Er versetzte durch Anwendung des Inductionsstromes die Muskeln oder Theile derselben in Erregung und nahm den dabei eintretenden Erfolg in Bezug auf Bewegung der Skelettheile als die physiologische Wirkung des betreffenden Muskels in Anspruch. Wie R. Fick bereits hervorhob, ist aber von einer Ueberschätzung der Duchenne'schen Methode entschieden zu warnen, da hierbei die passive Gegenwirkung der Antagonisten nicht ausgeschaltet ist und überdies, wie A. Fick (12) zeigte, die elektrische Reizung von der willkürlichen Innervation an Mächtigkeit weit übertroffen wird.

II. Versuche.

Tabelle I. (Beugung.)

Präparat I.

Mögliche Arbeitsleistung der Muskeln bei maximaler Beugung des Armes (von 0 bis 145 Grad).

A. Vorderarm in Supinationsstellung.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. brachialis	0·060	mal	51·8	=	3·108
M. bic. cap. long. . .	0·072	„	34·5	=	2·484
M. brachiorad. . . .	0·112	„	22·0	=	2·464
M. bic. cap. brev. . .	0·072	„	33·7	=	2·426
M. ext. carp. rad. long.	0·034	„	29·4	=	0·999
M. pron. ter.	0·037	„	25·0	=	0·925
M. flex. carp. rad. . .	0·017	„	18·5	=	0·314
M. ext. carp. rad. brev.	0·012	„	16·0	=	0·192
M. palm. long. . . .	0·007	„	7·2	=	0·050
					12·962

B. Vorderarm in Mittelstellung.

M. brach.	0·060	mal	51·8	=	3·108
M. brachiorad. . . .	0·124	„	22·0	=	2·728
M. bic. cap. long. . .	0·068	„	34·5	=	2·346
M. bic. cap. brev. . .	0·069	„	33·7	=	2·325
M. ext. carp. rad. long.	0·044	„	29·4	=	1·294
M. pron. ter. . . .	0·041	„	25·0	=	1·025
M. flex. carp. rad. . .	0·018	„	18·5	=	0·333
M. ext. carp. rad. brev.	0·013	„	16·6	=	0·216
M. palm. long. . . .	0·008	„	7·2	=	0·058
					13·433

C. Vorderarm in Pronationsstellung.

M. brach.	0·060	mal	51·8	=	3·108
M. brachiorad. . . .	0·126	„	22·0	=	2·772
M. bic. cap. long. . .	0·068	„	34·5	=	2·346
M. bic. cap. brev. . .	0·068	„	33·7	=	2·291
M. ext. carp. rad. long.	0·045	„	29·4	=	1·323
M. pron. ter.	0·044	„	25·0	=	1·100
M. flex. carp. rad. . .	0·018	„	18·5	=	0·333
M. ext. carp. rad. brev.	0·015	„	16·6	=	0·240
M. palm. long. . . .	0·010	„	7·2	=	0·072
					13·585

Präparat II. (Beugung von 0 bis 150 Grad.)

A. Vorderarm in Supinationsstellung.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. brach.	0·061	mal	74·1	=	4·520
M. bic. cap. long. . .	0·074	„	42·5	=	3·145
M. bic. cap. brev. . .	0·074	„	41·8	=	3·093
M. brachiorad. . . .	0·092	„	26·7	=	2·456
M. ext. carp. rad. long.	0·044	„	37·9	=	1·667
M. pron. ter. . . .	0·042	„	47·1	=	1·978
M. flex. carp. rad. . .	0·028	„	24·7	=	0·691
M. ext. carp. rad. brev.	0·018	„	28·4	=	0·511
M. palm. long. . . .	0·013	„	11·4	=	0·148
					18·209

B. Vorderarm in Mittelstellung.

M. brach.	0·061	mal	74·1	=	4·520
M. brachiorad. . . .	0·114	„	26·7	=	3·044
M. bic. cap. long. . .	0·072	„	42·5	=	3·060
M. bic. cap. brev. . .	0·072	„	41·8	=	3·010
M. pron. ter. . . .	0·046	„	47·1	=	2·166
M. ext. carp. rad. long.	0·050	„	37·9	=	1·895
M. flex. carp. rad. . .	0·030	„	24·7	=	0·741
M. ext. carp. rad. brev.	0·017	„	28·4	=	0·482
M. palm. long. . . .	0·014	„	11·4	=	0·160
					19·078

C. Vorderarm in Pronationsstellung.

M. brach.	0·061	mal	74·1	=	4·520
M. brachiorad. . . .	0·117	„	26·7	=	3·123
M. bic. cap. long. . .	0·070	„	42·5	=	2·975
M. bic. cap. brev. . .	0·070	„	41·8	=	2·926
M. pron. ter. . . .	0·051	„	47·1	=	2·402
M. ext. carp. rad. long.	0·052	„	37·9	=	1·902
M. flex. carp. rad. . .	0·030	„	24·7	=	0·741
M. ext. carp. rad. brev.	0·020	„	28·4	=	0·568
M. palm. long. . . .	0·017	„	11·4	=	0·194
					19·351

Die Messungen ergeben also bei beiden Präparaten, dass die Beugung in Supinationsstellung schwächer als in Mittelstellung ist, und in dieser wieder schwächer als in Pronationsstellung ausgeführt werden kann. Was die Wirkung der einzelnen Muskeln anbetrifft, so steht in allen Tabellen

obenan der einzige reine Beuger M. brachialis. Dann folgen die beiden Bicepsköpfe, die zusammen den M. brachialis an Kraft sogar übertreffen. Der Biceps ist als wichtiger Beuger des Vorderarmes auch jederzeit von allen Autoren gewürdigt worden, und es erübrigt nur hinzuzufügen, dass ein wesentlicher Unterschied bei dieser Bewegung zwischen den beiden Köpfen nicht besteht. Das Caput longum erscheint nach den Tabellen als das mächtigere, aber übertrifft das Caput breve bei beiden Präparaten immer nur um etwa 0·05 kgmm.

Der M. brachioradialis ist, nachdem er in Bezug auf seine Beugethätigkeit verschiedenen Missdeutungen ausgesetzt war, in neuerer Zeit als wichtiger Beugemuskel anerkannt worden, nur möchte ich ihn in seiner Kraftleistung nicht dem M. biceps und dem M. brachialis gleichgestellt wissen, wie es Duchenne (7, S. 103) thut. Das Maximum seiner Wirksamkeit erreicht der Muskel bei Pronationsstellung, am wenigstens mächtig ist er bei Supinationsstellung, in dieser Beziehung gerade entgegengesetzt dem M. biceps. Diesem Muskel folgt an Werthigkeit der M. ext. carp. rad. long. Dieser wirkt auch am kräftigsten bei Pronation. Eine eigenthümliche Bewegungsart schreiben diesem Muskel Braune und Fischer (10, vorletzte Seite) zu. Sie sagen: „Der Radialis externus ist anfangs Streckmuskel, während alle anderen gleich mit einem positiven Rotationsmoment bei der Bewegung beginnen, was dadurch hervorgerufen wird, dass sie über die Rolle laufen, deren Halbmesser an der betreffenden Stelle als Hebelarm für den Muskel functionirt.“ Hier scheint der an Stelle des Muskels gespannte Faden die Ursache einer Täuschung geworden zu sein. Richtig ist, dass die Humerusrolle für den M. ext. carp. rad. long. nicht als Hebelarm in Betracht kommt, sondern die Längsaxe des Muskels liegt etwas nach aussen von ihr. Das genügt aber nicht, um zu begründen, dass ein Muskel, dessen Fixationspunkte an der Vorderseite des Armes liegen, eine Streckbewegung hervorbringen sollte, es sei denn, dass er die Möglichkeit besässe, über das Niveau der Humerusrolle nach hinten zu gleiten. Er müsste also, seiner Fascienverbindung mit den Nachbarn ledig, sich unter der Fascia antibrachii von der Vorderfläche nach der Hinterfläche hin- und herschieben können und an dem unter ihm liegenden M. ext. carp. rad. brev. keinen Widerhalt finden. Für den Muskel am Lebenden ist dies unmöglich, dagegen kann der für den Muskel gespannte Faden sich in der angegebenen Weise verhalten. Bei meinen Versuchen habe ich dies zwar nicht beobachten können, doch habe ich keinen Grund zu zweifeln, dass bei anderen Präparaten der Faden einen derartigen Ausschlag geben kann.

Die übrigen bei der Beugung des Vorderarmes betheiligten Muskeln stehen ihrer Kraftleistung entsprechend in dieser Reihenfolge:

M. pronator teres. Beugt den Vorderarm mit etwas geringerer Kraft

als der M. ext. carp. rad. long. Er wirkt am stärksten bei pronirten, am schwächsten bei supinirtem Vorderarm.

M. extensor carp. rad. brev. und palm. longus. Diese kommen für die Beugung sehr wenig in Betracht, hauptsächlich weil ihre Insertionspunkte der Gelenkaxe sehr nahe liegen.

Tabelle II. (Streckung.)

Mögliche Arbeitsleistung der Muskeln bei maximaler Streckung des Armes.

Präparat I. (Streckung von 145 bis 0 Grad.)

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. triceps cap. lat. . .	0·048	mal	63·8	=	3·062
M. triceps cap. med. .	0·044	„	51·3	=	2·257
M. triceps cap. long. .	0·050	„	44·2	=	2·210
M. anconaeus . . .	0·022	„	28·8	=	0·637
					8·166

Präparat II. (Streckung von 150 bis 0 Grad.)

M. triceps cap. lat. . .	0·052	mal	71·8	=	3·734
M. triceps cap. med. .	0·051	„	62·0	=	3·162
M. triceps cap. long. .	0·053	„	50·8	=	2·692
M. anconaeus . . .	0·031	„	34·8	=	1·079
					10·667

Aus dem Vergleich der Tabelle I und II geht hervor, dass die Kraft aller Beuger die Streckkraft bedeutend überwiegt, eine Thatsache, die auch die tägliche Erfahrung bestätigt. Für die Streckung des Ellbogengelenkes kommen wesentlich nur die drei Köpfe der Triceps in Betracht. Abgesehen von seiner Thätigkeit am Schultergelenk wirkt der Triceps als Strecker des Vorderarms und ist ohne Einfluss auf die übrigen am Vorderarm möglichen Bewegungen, daher zeigt sich auch kein Unterschied der Streckkraft bei den verschiedenen Stellungen des Radius. Die Arbeitsleistung der ihm zugehörigen drei Muskelbäuche verhält sich folgendermaassen: Am meisten wirksam ist das Caput laterale, ihm folgt das Caput mediale und am wenigsten wirkt das Caput longum, doch sind die Unterschiede der Kraftleistung nicht bedeutend. Diese Beobachtung theile ich mit E. Fick und, was die Reihenfolge der Kraftleistung anbelangt, auch mit Duchenne (7, S. 113), nur sieht dieser im Caput longum einen sehr unwesentlichen Factor für die Strekbewegung des Unterarms. Schon äusserlich betrachtet ist es verwunderlich, dass das Caput longum, das mit den anderen beiden, dem Triceps zugehörigen Muskelbäuchen gleich gerichtet, fast gleichmässig fixirt ist und in seinem Baue von ihnen nicht wesentlich abweicht, in seiner Kraftleistung am Ellbogengelenk von den beiden anderen Köpfen so wesentlich

übertroffen werden sollte. Das Caput longum ist seinem Ansatze entsprechend von den drei Bäuchen allein befähigt, auch am Schultergelenk direct zu wirken, und es wird wohl der Behauptung Duchennes der Einwand gemacht werden müssen, dass er überhaupt nicht oder nur ungenügend für die Fixation der Scapula Sorge getragen hat, denn, wie schon E. Fick (3, S. 26) bemerkt, ist darüber keine Bemerkung bei Duchenne zu finden, ob und in welcher Weise eine derartige, nothwendige Maassnahme getroffen worden ist. Der von Duchenne angeführten, auf die Zweckmässigkeit in der Anlage des Körpers gestützten Begründung, dass dieser Muskelbauch auch bei der Senkung des Oberarms gegen den Rumpf betheiligt sei und, falls diese Bewegung bei gebeugtem Vorderarm ausgeführt werden solle, als Strecker nicht hinderlich im Wege sein dürfe, ist wohl keine besondere Beweiskraft zuzuerkennen. Dieser Irrthum hat Duchenne auch veranlasst, selbst den Anconaeus in seiner Wirksamkeit dem Cap. long. tric. voranzustellen. Für den Anconaeus als reinen Strecker war allerdings eine Täuschung nicht möglich, er imponirte mit seiner ganzen Kraft, die aber bei der kurzen Excursion und bei der, trotz der erheblichen Breite, geringen Querschnittfläche nach meinen Berechnungen, an beiden Präparaten übereinstimmend, um das Vierfache geringer ist als die des Cap. long.

Tabelle III. (Pronation.)

Präparat I.

Mögliche Arbeitsleistung bei äusserster Pronation des Radius (von 0 bis 125 Grad).

A. Arm in Streckstellung.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. flex. carp. rad. . .	0·015	mal	18·5	=	0·2775
M. pron. ter. . . .	0·011	„	25.0	=	0·2750
M. pron. quadr. . .	0·009	„	21·8	=	0·1962
M. palm. long. . . .	0·012	„	7·2	=	0.0864
					0·8351

B. Arm in rechtwinkliger Stellung des Unterarms zum Oberarm.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. pron. ter. . . .	0·019	mal	25·0	=	0·4750
M. brachiorad.[1] . . .	0·013	„	22·0	=	0·2860
M. flex. carp. rad. . .	0·014	„	18·5	=	0·2590
M. pron. quadr. . . .	0·009	„	21.8	=	0·1962
M. ext. carp. rad. long.	0·006	„	29·4	=	0.1764
M. palm. long. . . .	0·010	„	7·2	=	0·0720
					1·4646

[1] Bis zu 105 Grad von der äussersten Supination aus.

C. Arm in Beugestellung.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. brachiorad. . . .	0·020	mal	22·0	=	0·4400
M. pron. ter. . . .	0·015	„	25·0	=	0·3750
M. pron. quadr. . . .	0·009	„	21·5	=	0·1962
M. flex. carp. rad. . .	0·010	„	18·5	=	0·1850
M. ext. carp. rad. long.	0·005	„	29·4	=	0·1470
M. palm. long. . . .	0.007	„	7·2	=	0·0504
					1·3936

Präparat II.

Mögliche Arbeitsleistung bei Pronation (von 0 bis 120 Grad).

A. Arm in Streckstellung.

M. pron. ter. . . .	0·010	mal	47·1	=	0·4710
M. flex. carp. rad. . .	0·011	„	24·7	=	0·2717
M. pron. quadr. . . .	0·008	„	22·6	=	0·1808
M. palm. long. . . .	0·013	„	11·4	=	0·1482
					1·0717

B. Arm in rechtwinkliger Stellung.

M. pron. ter. . . .	0·020	mal	47·1	=	0·9420
M. brachiorad. [1] . . .	0·012	„	26·7	=	0·3204
M. flex. carp. rad. . .	0·008	„	24·7	=	0·1976
M. ext. carp. rad. long.	0·005	„	37·9	=	0·1895
M. pron. quadr. . . .	0·008	„	22·6	=	0·1808
M. palm. long. . . .	0·012	„	11·4	=	0·1368
					1·9671

C. Arm in Beugung.

M. pron. ter. . . .	0·015	mal	47·1	=	0·7065
M. brachiorad. . . .	0.011	„	26·7	=	0·2937
M. flex. carp. rad. . .	0·010	„	24·7	=	0·2470
M. ext. carp. rad. long.	0·005	„	37·9	=	0·1895
M. pron. quadr. . . .	0·008	„	22·6	=	0·1808
M. palm. long. . . .	0·009	„	11·4	=	0·1026
					1·7201

M. pronator teres, pronator quadratus, flexor carpi radialis und palmaris longus sind in ihrer pronatorischen Thätigkeit bekannt, und interessant ist eigentlich nur, dass bei rechtwinkliger Stellung des Vorderarmes zum Oberarm der Pronator teres eine ganz besonders grosse Arbeitsleistung zeigt. Das Maximum der gesammten Kraftleistung wird bei rechtwinklig gestelltem Arme erreicht, am geringsten ist dieselbe bei gestrecktem Arme.

[1] Bis zu 100 Grad von äusserster Supination aus.

Eine eigenthümliche Stellung nimmt der Brachioradialis ein. Während dieser Muskel früher unter dem Namen Supinator longus als reiner Supinationsmuskel angesehen wurde, ist man neuerdings der Meinung, dass der Brachioradialis eine Mittelstellung zwischen Supination und Pronation herbeiführe. Mit diesem Muskel habe ich mich daher besonders genau befasst und bin, wie schon aus der Tabelle ersichtlich ist, zu dem Resultate gekommen, dass er in rechtwinkliger Stellung des Vorderarmes zum Oberarm ein Pronator ist, aber nur bis zu 100 Grad (I) bezw. 105 Grad (II) von äusserster Supination aus, während die Pronationsbewegung noch bis 120 bezw. 125 Grad am Präparat fortgesetzt werden konnte. In äusserster Beugestellung hingegen kann er die vollständige Pronation erzeugen. Ein ungefähr gleiches Verhalten zeigt der, dem vorigen Muskel ähnlich fixirte Extensor carpi radialis longus, nur dass dieser Muskel bereits in rechtwinkliger Beugestellung volle Pronation erzeugen kann. Beim Extensor carpi radialis brevis fand ich überhaupt keinen Einfluss auf die Pronation oder Supination.

Tabelle IV. (Supination.)

Präparat I.

Mögliche Arbeitsleistung bei Supination (125 bis 0 Grad).

A. Arm in Streckstellung.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. brachiorad. . . .	0·020	mal	22·0	=	0·4440
M. bic. cap. brev. . .	0·011	„	33·7	=	0·3707
M. bic. cap. long. . .	0·008	„	34·4	=	0·2752
M. supinator	0·014	„	18·6	=	0·2604
M. ext. carp. rad. long.	0·006	„	29·4	=	0·1764
M. abd. poll. long. . .	0·005	„	10·6	=	0·0530
M. ext. poll. brev. . .	0·005	„	10·6	=	0·0530
M. ext. poll. long. . .	0·004	„	5·8	=	0·0232
M. ext. ind. propr. . .	0·004	„	3·2	=	0·0128
					1·6647

B. Arm in rechtwinkliger Stellung des Unterarms zum Oberarm.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. bic. cap. brev. . .	0·018	mal	33·7	=	0·6066
M. bic. cap. long. . .	6·013	„	34·4	=	0·4472
M. supinator	0·015	„	18·6	=	0·2790
M. abd. poll. long. . .	0·005	„	10·6	=	0·0530
M. ext. poll. brev. . .	0·005	„	10·6	=	0·0530
M. brachiorad.[1] . . .	0·002	„	12·0	=	0·0440
M. ext. poll. long. . .	0·004	„	5·8	=	0·0232
M. ext. ind. propr. . .	0·004	„	3·2	=	0·0128
					1·5188

[1] Bis zu 20 Grad von äusserster Pronation aus.

C. Arm in äusserster Beugestellung.

Der Grösse nach:	Verkürzung in m		Querschnitt in qcm mal 10		Arbeitsmöglichkeit in kgm
M. bic. cap. brev. . .	0·018	mal	33·7	=	0·6066
M. bic. cap. long. . .	0·013	„	34·4	=	0·4472
M. supinator	0·015	„	18·6	=	0·2790
M. abd. poll. long. . .	0·005	„	10·6	=	0·0530
M. ext. poll. brev. . .	0·005	„	10·6	=	0·0530
M. ext. poll. long. . .	0·004	„	5·8	=	0·0232
M. ext. ind. propr. . .	0·004	„	3·2	=	0·0128
					1·4748

Präparat II.

Mögliche Arbeitsleistung bei Supination (120 bis 0 Grad).

A. Arm in Streckstellung.

M. bic. cap. brev. . .	0·012	mal	34·7	=	0·4164
M. supinator	0·016	„	25·4	=	0·4064
M. bic. cap. long. . .	0·009	„	35·5	=	0·3195
M. brachiorad. . . .	0·009	„	26·7	=	0·2403
M. ext. carp. rad. . .	0·005	„	37·7	=	0·1885
M. abd. poll. long. . .	0·004	„	26·3	=	0·1052
M. ext. poll. brev. . .	0·004	„	26·3	=	0·1052
M. ext. poll. long. . .	0·003	„	5·4	=	0·0162
M. ext. ind. propr. . .	0·002	„	4·3	=	0·0086
					1·8063

B. Arm in rechtwinkliger Stellung.

M. bic. cap. brev. . .	0·021	mal	34·7	=	0·7287
M. bic. cap. long. . .	0·020	„	35·5	=	0·7100
M. supinator	0·016	„	25·4	=	0·4064
M. abd. poll. long. . .	0·004	„	26·3	=	0·1052
M. ext. poll. brev. . .	0·004	„	26·3	=	0·1052
M. brachiorad.[1] . . .	0·002	„	26·7	=	0·0534
M. ext. poll. long. . .	0·003	„	5·4	=	0·0162
M. ext. ind. propr. . .	0·002	„	4·3	=	0·0086
					2·2337

C. Arm in Beugestellung.

M. bic. cap. brev. . .	0·021	mal	34·7	=	0·7287
M. bic. cap. long. . .	0·020	„	35·5	=	0·7100
M. supinator	0·016	„	25·4	=	0·4064
M. abd. poll. long. . .	0·004	„	26·3	=	0·1052
M. ext. poll. brev. . .	0·004	„	26·3	=	0·1052
M. ext. poll. long. . .	0·003	„	5·4	=	0·0162
M. ext. ind. propr. . .	0·002	„	4·3	=	0·0086
					2·1803

[1] Bis 20 Grad von äusserster Pronation aus.

Als starke Supinatoren kommen in Betracht die beiden Köpfe des Biceps und der Supinator. Der kurze Kopf des Biceps überwiegt in der Verkürzung, so dass er trotz seines etwas geringeren Querschnittes grössere Arbeit zu leisten vermag. Er ist also der stärkste Supinator, obgleich Duchenne (7, S. 114) behauptet, dass er den Arm nur in halbe Supinationsstellung versetze. Der Biceps verkürzt sich allerdings in den ersten Perioden seiner Supinationsthätigkeit wesentlich schneller als in den letzten. Doch ist das Vorhandensein einer messbaren Verkürzung bis zur äussersten Supination der Beweis dafür, dass er während der ganzen Dauer der Supination am Radius activ thätig ist. Während der letzten Perioden liegt allerdings dem Supinator die Hauptleistung ob, der in seiner Kraft ungefähr die Hälfte der des Biceps repräsentirt. Was die an Hand und Finger wirkenden Vorderarmmuskeln betrifft, so habe ich alle diese auf ihr Verhalten bei Supination und Pronation geprüft, selbst die an der Ulna inserirenden, von denen von vornherein zu erwarten war, dass sie sich an Pronation und Supination nicht betheiligen können. Ausschlag gaben mir Mm. abd. poll. long., ext. poll. brev., ext. poll. long. und ext. ind. propr., und zwar, wie die Tabelle lehrt, einen sehr geringen.

Der M. brachioradialis wirkt, wie die Tabellen lehren, in der Streckstellung als reiner Supinator, bei rechtwinklig gebeugter Stellung hingegen bewirkt er nur bis zu 20 Grad Supination aus äusserster Pronation, dann wird er, wie Tabelle III gezeigt hat (vgl. a. S. 14), ein Pronator. In äusserster Beugestellung supinirt er überhaupt nicht mehr, sondern ist ein Pronator, siehe Tabelle III und S. 14. Der M. ext. carp. rad. ist überhaupt nur in der Streckstellung Supinator, bei rechtwinkliger Beugung schon reiner Pronator, siehe ebenda.

Zum Schlusse gestatte ich mir, auch an dieser Stelle Hrn. Geheimrath Prof. Dr. His für die gütige Ueberlassung des zur Arbeit nöthigen Materials und Hrn. Prof. Dr. Fick für seine eingehende Unterweisung und Anleitung meinen aufrichtigsten Dank auszudrücken.



Litteraturverzeichniss.

(Im Text sind die Quellenangaben mit der fortlaufenden Nummer bezeichnet.)

1. R. Fick, Ueber die Arbeitsleistung der auf die Fussgelenke wirkenden Muskeln. *Festschrift* für A. v. Kölliker. Würzburg 1892.

2. Derselbe, Ueber die Arbeit der Fussgelenkmuskeln. *Verhandlungen der anatomischen Gesellschaft.* 6. Versammlung. Wien. 7. bis 9. Juni 1892.

3. Eugen Fick und E. Weber, Anatomisch-mechanische Studie über die Schultermuskeln. *Würzburger Verhandlungen.* 1877. N. F. Bd. XII.

4. Henke, Die Grösse der absoluten Muskelkraft aus Versuchen neu berechnet. Henle und Pfeuffer's *Zeitschrift.* 1865. 3. R. Bd. XXIV.

5. Hans Buchner, Kritische und experimentelle Studien über den Zusammenhalt des Hüftgelenkes in allen normalen Fällen. *Archiv für Anatomie u. Physiologie.* 1877. Anat. Abthlg.

6. Koster, La détermination du maximum de force des muscles vivants. *Arch. néerland. des sciences exactes et naturelles.* 1866. T. II.

7. Duchenne, *Physiologie der Bewegungen.* Uebersetzt von Dr. C. Wernike. Cassel und Berlin 1885.

8. Eduard Friedr. Weber, Ueber die Längenverhältnisse der Fleischfasern der Muskeln im Allgemeinen. *Berichte der Gesellschaft der Wissensch. zu Leipzig. mathem.-phys. Classe.* Sitzung am 16. August 1881.

9. Lydie Egon de Besser, De l'action mécanique des muscles des doigts et du poignet. *Dissert.* Lausanne 1899.

10. W. Braune und O. Fischer, Die Rotationsmomente der Beugemuskeln am Ellbogengelenk des Menschen. *Abh. der kgl. sächs. Gesellsch. der Wissensch.* 1889. Bd. XV. Nr. III.

11. S. Mollier, Ueber die Statik und Mechanik des menschlichen Schultergelenkes unter normalen und pathologischen Verhältnissen. *Festschrift* zum 70. Geburtstag von C. v. Kupffer. Jena 1899.

12. A. Fick, Myographische Versuche am lebenden Menschen. Pflüger's *Archiv.* 1887.

13. Steinhausen, Lähmung des vorderen Sägemuskels. *Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde.* Leipzig 1900. Bd. XVI.

Lebenslauf.

Verfasser vorliegender Dissertation wurde am 9. Januar 1874 als Sohn des Bürgermeisters Joseph Grohmann zu Frauenstein i. S. geboren. Er besuchte in den Jahren 1886 bis 1892 das Gymnasium zu Freiberg und von 1892 ab das Nicolaigymnasium zu Leipzig, das er Ostern 1895 mit dem Zeugniss der Reife verliess, um an der Universität Leipzig sich dem Studium der Medicin zu widmen. Am 21. Juli 1900 erhielt er die Approbation als Arzt und arbeitete von dieser Zeit ab mit Unterbrechung im anatomischen Institut zu Leipzig an vorliegender Dissertation „Ueber die Arbeitsleistung der am Ellbogengelenk wirkenden Muskeln". Darauf genügte er seiner Militärpflicht und befindet sich jetzt in Dresden als Assistenzarzt des Hrn. Dr. med. Mann, Specialarzt für Ohr-, Nasen- und Halskrankheiten.







